

Johanna Kivekäs

# RAKENNETIETOMALLIPOHJAINEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Tammikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Johanna Kivekäs: Rakennetietomallipohjainen hiilijalanjäljen laskenta  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan TkK-tutkinto-ohjelma  
Tammikuu 2020

---

Ympäristöministeriön Vähähiilisen rakentamisen tiekartan yhtenä tavoitteena on tuoda rakennusten hiilijalanjäljen hallitseminen osaksi rakennusmääräyksiä jo vuoteen 2025 mennessä. Rakennuksen hiilijalanjäljen laskuprosessin kehitys on siis ajankohtaista.

Rakennushankkeessa rakennuksen vähähiilisyyteen kannattaa kiinnittää huomiota mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnittelua. Tässä työssä keskityttiin erityisesti toteutussuunnitteluvaiheen rakennetietomallin hyödyntämiseen elinkaariarvioinnissa.

Tämän työn tavoitteena oli koota tietoa vähähiilisyyden arviointimenetelmän vaiheista ja rakennetietomallin hyödyntämisestä elinkaariarvioinnissa. Yhtenä päämääränä oli myös laskea As Oy Puumeran hiilijalanjälki toteutussuunnitteluvaiheen tiedoilla. Hiilijalanjäljen laskemiseen käytettiin ympäristöministeriön vuonna 2019 julkaisemaa vähähiilisyyden arviointimenetelmää ja -työkalua. Saatua tulosta verrattiin samasta kohteesta toisessa selvityksessä toimitusketjutietojen avulla laskettuun hiilijalanjälkeen. Toimitusketjutietojen perusteella lasketun hiilijalanjäljen voidaan olettaa olevan mahdollisimman tarkka kuvaus rakennuksen hiilijalanjäljestä, sillä sen laskemisessa on käytetty toteutuneita toimitus- ja tuotetietoja.

Työssä tehdyn kirjallisuustutkimuksen ja hiilijalanjälkien vertailun pohjalta todettiin, että toteutussuunnitteluvaiheen tiedoilla ja ympäristöministeriön arviointityökalulla saatu hiilijalanjäljen tulos vastasi hyvin toimitusketjutietojen avulla laskettua hiilijalanjälkeä. Menetelmän avulla saatua tulosta voisi käyttää suuntaa antavana hiilijalanjäljen arvona hankkeen toteutussuunnitteluvaiheessa.

Ympäristöministeriön arviointityökalu todettiin selkeäksi ja hyvin hiilijalanjäljen laskuun sopivaksi. Määrätietojen syöttäminen ja jaottelu kategorioihin vei kuitenkin huomattavan osan laskentaan käytetystä ajasta. Toisaalta arviointimenetelmän vakiintuneet taulukkoarvot nopeuttivat arvioinnin tekoa.

Työssä saadut tulokset puoltavat elinkaariarvioinnin kehitystä tietomallipohjaiseksi. Tietomallien automaattinen hyödyntäminen vähentäisi laskijakohtaisia virheitä ja nopeuttaisi laskuprosessia.

Avainsanat: Hiilijalanjälki, elinkaariarviointi, tietomallien hyödyntäminen

# ABSTRACT

Johanna Kivekäs: BIM based embodied carbon footprint calculation  
Bachelor's thesis  
Tampere University  
Construction Engineering  
January 2020

---

Ministry of the Environment released Vähähiilisen rakentamisen tiekartta (Road map of low-carbon construction) in 2017 and one of its targets is to make controlling of building carbon footprints as a part of building regulations before year 2025. Therefore development of carbon footprints calculation process is relevant.

In a building project it is important to pay attention to low carbon footprint already in the early stages of the designing. In this thesis it is specifically enlarged on how to use implementation planning stages building information model in LCA.

The aim of this thesis was to collect information about national carbon footprint assessment method and how to include BIM in the process. In addition, one goal was to calculate Puumera's carbon footprint with implementation planning stages amount of information. National assessment method and tool were used in the calculations. Results of the calculation were compared to Sitras results for carbon footprint calculated with delivery information. It can be assumed that carbon footprint calculated with delivery information is the most exact result for buildings carbon footprint.

Based on the literary research and comparison of the results it can be concluded that carbon footprint results together with information of implementation planning stage was corresponding to carbon footprint calculated with delivery information. Assessment method and tool can be used for calculating guiding carbon footprints.

Assessment tool was clear and easy to use for carbon footprint calculation. Manual data processing took some time. On the other hand, the tool had default information that fastened the process.

Results of this thesis supports the development of the carbon footprint calculation process to be BIM-based. BIM-based automatic calculation would reduce mistakes and speed up the calculation process.

Keywords: Carbon footprint, LCA, BIM

# ALKUSANAT

Opinnäytetyön aihe oli itselleni erityisen mielenkiintoinen. Kiitokset Swecolle tästä aihevaihtoehdosta ja mahdollisuudesta nähdä suunnittelutoimiston työympäristöä.

Tämän työn ohjaajina ovat toimineet Lauri Lepikonmäki Swecolta ja Toni Pakkala Tampereen yliopistolta. Kiitos molemmille työhön paneutumisesta, yksityiskohtaisesta palautteesta ja arvokkaista korjausehdotuksista. Kiitos myös läheisilleni, jotka ovat kannustaneet työn tekemisessä.

Tampereella 7.1.2020

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN ELINKAARIARVIOINNISSA .....	3
2.1 Tietomallien hyödyntäminen nykyään .....	3
2.2 Tietomallin edellytykset hiilijalanjäljen laskentaan .....	4
3. RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ JA -TYÖKALU ..	8
3.1 Arviointimenetelmän tausta .....	8
3.2 Arviointimenetelmän rajaukset .....	9
3.3 Arviointimenetelmän oletukset .....	13
3.4 Arvioinnin suorittaminen arviointityökalulla .....	15
4. RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN .....	18
4.1 Asunto Oy Puumera .....	18
4.2 Laskennassa käytetty tieto .....	19
4.3 Laskennassa tehdyt rajaukset ja oletukset .....	22
5. TULOKSET .....	23
5.1 Laskettu Puumeran hiilijalanjälki .....	23
5.2 Puumeran hiilijalanjälki Sitran selvityksen mukaan .....	24
5.3 Vertailu .....	26
6. PÄÄTELMÄT .....	29
LÄHTEET .....	32
LIITE A: ARVIOINTITYÖKALUN YHTEENVEDON KUVAAJAT .....	34

# KÄSITTEET

Arviointijakso	Ajanjakso, jolle elinkaariarviointi tehdään ja kokonaispäästöt jaetaan (esim. rakennuksen suunniteltu käyttöikä)
Elinkaariarviointi	Menetelmä elinkaaren ympäristövaikutusten mittaamiseen
Hiilidioksidiekvivalentti	Ilmakehään vapautuneiden eri kasvihuonekaasujen määrä, joka on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta
Hiilijalanjälki	Tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen summa
Hiilikädenjälki	Tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana syntyvien positiivisten ilmastovaikutusten, jotka ilman tuotetta tai toimintaa ei syntyisi, summa muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi
Hiilineutraalius	Tilanne, jossa toiminta ei muuta ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta eli toiminta tuottaa ilmakehään vain sen verran hiilidioksidia, kuin se pystyy sitomaan hiilidioksidia ilmakehästä
Lämmitetty nettoala	Rakennuksen kerrostasojen ulkoseinien sisäpintojen rajaama lämmitetty kerrosala
Rakennuksen elinkaari	Vaiheet raaka-aineiden hankinnasta rakennuksen purkuun
Toteutussuunnittelu	Rakennushankkeen vaihe, jossa yleissuunnitelmat tarkennetaan rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi
Ympäristöseloste	Standardisoitu seloste, joka listaa tuotteen erilaiset ympäristövaikutukset
BIM	Building Information Model, rakennuksen tietomalli
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi

# 1. JOHDANTO

Rakentamisen hiilijalanjälki on noin kolmannes Suomen hiilijalanjäljestä. Rakentamisen hiilijalanjälki koostuu rakennusmateriaalien valmistuksesta, kuljetuksesta, työmaatoiminnoista, kunnossapidosta ja korjauksesta, materiaalien vaihdoista, energian ja veden käytöstä sekä rakennuksen purkamisesta ja materiaalien loppukäsittelystä. Näistä suurin hiilijalanjälki on rakennuksen käytön aikaisella energiankulutuksella ja toiseksi suurin on rakennusmateriaalien valmistuksella. Rakennusmateriaalien osuus kokonaishiilijalanjäljestä tulee suurentumaan, kun rakennusten energiatehokkuutta ja energiantuotantoa kehitetään vuosien saatossa. (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.55)

Suomen kansallinen ilmastotavoite on pyrkiä hiilineutraalisuuteen vuoteen 2035 mennessä. Ympäristöministeriön laatiman vähähiilisen rakentamisen tiekartan yhtenä tavoitteena on hallita rakennusten hiilijalanjälkeä rakennusmääräysten avulla jo vuoteen 2025 mennessä (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.43). Rakentaminen on siis tärkeässä osassa, kun pyritään hillitsemään Suomen kasvihuonekaasupäästöjä. Tällä hetkellä rakentamisen päästölaskenta ei ole pakollista Suomessa. Päästölaskentaan kuitenkin kannustetaan kaupallisilla ympäristöluokitusjärjestelmillä ja vihreillä rahoitusoptioilla (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.2). Jotta vähähiilisen rakentamisen tiekartan tavoitteisiin päästäisiin, edessä on paljon kehitystyötä. Arviointimenetelmän kehityksen lisäksi on aloitettu selvityshankkeita esimerkiksi kaavoitusohjauksesta ja koulutustarjonnan kehityksestä (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.41).

Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset on ollut tapana ottaa huomioon rakennuksen ympäristöarviota tehtäessä vain luonnonvarojen ehtymisenä. Ympäristöarvioinnissa ei ole siis otettu huomioon materiaalien koko elinkaarta. Yksi syy tähän on rakennustuotteiden ympäristöselosteiden huono saatavuus. Jos rakennuksen elinkaarilaskentaan tarvittava tieto sisällytettäisiin rakennuksen tietomalliin se helpottaisi kvantitatiivisten menetelmien käyttöä ja koko elinkaaren mukaan ottamista ympäristövaikutuksia arvioitaessa. (Bueno & Fabricio 2016) Rakennusalalla elinkaariarvointiin käytettävät laskentatyökalut ovat menneetkin kohti tietomallien hyödyntämistä niiden käytön yleistyessä. Yksi esimerkki tällaisesta laskentatyökalusta on One Click LCA-elinkaarilaskentaohjelma, joka pystyy hyödyntämään tietomallin tietosisältöä automaattisesti.

Ympäristöministeriö on julkaissut syksyllä 2019 Suomessa käytettävän kansallisen vähähiilisuuden arviointimenetelmän ja arviointityökalun ensimmäisen version. Uuden arviointimenetelmän tavoitteina on tuoda standardipohjainen elinkaariarviointi helposti seurattavaksi osaksi Suomen energia- ja ilmastostrategian kokonaiskuvaa ja tehdä elinkaariarvioinnista sujuvampaa (Kuittinen 2019, s.9). Vähähiilisuuden arviointityökalu on muoltaan Excel-pohjainen laskentataulukko. Laskentatyökalun tarkoitus on antaa alan toimijoille ilmainen ja yksinkertainen työkalu vähähiilisuuden arviointiin.

Tässä kandidaatintyössä lasketaan yhden rakennuksen rungon materiaalien hiilijalanjälki käyttäen ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmää ja -työkalua. Työn tarkoituksena on kartoittaa hiilijalanjäljen laskennan mahdollisuuksia toteutussuunnitteluvaiheen tietomäärän ja vastajulkaistun arviointimenetelmän avulla. Laskentaan tarvittavat tiedot tulevat kohteen rakennetietomallista sekä rakennepiirustuksista. Uuden arviointimenetelmän ja toteutussuunnitteluvaiheen tietojen avulla laskettua hiilijalanjälkeä verrataan rakennuksesta aikaisemmin laskettuun hiilijalanjälkeen, joka on laskettu toteutuneiden ratkaisujen mukaisesti toimitusketjutietojen materiaaalimäärillä. Vertailun pohjalta arvioidaan, mille tasolle toteutussuunnitteluvaiheen tietomäärällä päästään.

Työssä käsitellään tietomallien hyödyntämistä elinkaariarvioinnissa, rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän taustaa ja arviointiin käytettävän työkalun toimintaa. Työssä kuvataan As Oy Puumeran hiilijalanjäljen laskennan vaiheet. Tuloksina esitellään tämän työn ja Sitran selvityksen tulokset Puumeran hiilijalanjäljelle ja toteutetaan vertailu. Työn päätelminä arvioidaan mille tasolle hiilijalanjäljen laskemisessa päästään toteutussuunnitteluvaiheen tiedoilla. Päätelmissä myös kerrotaan suoritettun laskentaprosessin vaiheista. Tarkoituksena on myös pohtia hiilijalanjäljen laskentaa rakennetietomallien hyödyntämisen näkökulmasta.



## 2. TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN ELINKAARIARVIOINNISSA

Tietomallien hyödyntäminen tuo monia mahdollisuuksia elinkaariarvioinnin suorittamiseen. Tässä kappaleessa kerrotaan tietomallien hyödyntämisestä ja tietomallien edellytyksistä hiilijalanjäljen laskemisessa.

### 2.1 Tietomallien hyödyntäminen nykyään

Rakennuksen tietomalli on rakennusosista koottu digitaalinen kolmiulotteinen malli, joka sisältää rakennuksen geometriatiedon lisäksi myös rakennusosien ominaisuustietoa sekä sijaintitietoa (Jäväjä & Lehtoviita 2016, s.15). Tietomallin yleisiä tavoitteita on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävän kehityksen prosessin tukeminen (Hentinen 2012, s.5). Tietomallit tuovat rakennusprosessiin mahdollisuuden tehokkaalle työskentelylle, jossa suunnittelijoiden aikaansaannos on aina saatavilla ajantasaisesti kaikille projektiin osallistujille. Tiedon reaaliaikainen saatavuus vähentää päällekkäistä työntekoa, sekä selkeyttää esimerkiksi eri suunnittelijoiden mallintamien rakenteiden päällekkäisyyksien tarkastelua. Tietomallintaminen ei ole vain kolmiulotteinen malli tai suunnitelma. Se on tapa käsitellä ja jakaa informaatiota hankkeen eri osapuolien välillä. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, s.18)

Tietomallin käyttö jokaisessa rakennushankkeessa ei ole kuitenkaan itsestään selvää. Tietomallin käyttö rakennusprojektissa vaatii suunnittelijoilta perehtymistä tietomalliohjelman käyttöön sekä yleisiin tietomallivaatimuksiin (Hentinen 2012, s.5). Suomessa tietomallien käyttö on rutiinia lähinnä kaupallisten kiinteistöjen, kuten kauppakeskusten ja toimistorakennuksien suunnittelu- ja rakennusprosesseissa, mutta tietomallien käyttö on selvästi lisääntymässä muissakin rakennushankkeissa (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.24). Erityisesti kaupallisella sektorilla on siis mahdollisuus tehdä tietomallipohjaista hiilijalanjäljen laskentaa.

Rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaan tarvittava materiaalien määrätieto on mahdollista saada suoraan rakennuksen tietomallista. Tietomallit sopivat hiilijalanjälkilaskennan tietolähteeksi erinomaisesti, sillä ne mahdollistavat määrätiedon nopean käsittelyn ja nopean laskemisen. Bionovan tekemän kestävän rakentamisen asiantuntijoille suunnatun kyselyn mukaan elinkaariarviointi rakennushankkeissa, joissa ei ole hyödynnetty tietomallintamista, on jäänyt usein tekemättä laskennan hitauden sekä ympäristöselosteiden

ja määrätiedon huonon saatavuuden ja hyödynnettävyyden vuoksi. Tietomallien hyödyntäminen elinkaarilaskennassa eliminoisi jo kaksi haastetta: laskennan hitauden ja määrätiedon puutteen. Saman kyselyn mukaan 87 % vastanneista käyttäisikin elinkaariarviointia työkaluna hankkeissaan, jos se olisi tehtävissä tietomallia hyödyntäen (Bruce-Hyrkäs et al. 2018, s.5).

Tietomalleja hyödyntäviä elinkaarilaskentatyökaluja on kehitetty vuosien kuluessa, mutta kaikissa ei ole päästy halutun automaation tasolle. Yleisiä tietomallipohjaisen elinkaarilaskennan työkaluja ovat Tally, Elodie, Cocon ja Suomessa käytettävä One Click LCA. (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.68) One Click LCA pystyy käyttämään monien eri tiedostomuotojen – mukaan lukien IFC-tietomallien – tietoja automaattisesti elinkaarilaskennassa. Usein kaikkien tietomallissa esiintyvien objektien ominaisuuksia ei kuitenkaan ole määriteltä hiilijalanjäljen laskemiseen vaadittavalla tavalla. One Click LCA on kehittänyt myös työkalua, jolla voi tarkistaa, täyttääkö tietomalli edellytykset elinkaarilaskentaa varten ja millaiselle tasolle laskennassa päästään kyseessä olevan tietomallin avulla. (One Click LCA 2019)

Kaupallisten elinkaariarviointiohjelmien työkalut ja automatisoitu laskentaprosessi on siis kehittynyt jo merkittävästi. Myös uusi kansallinen hiilijalanjäljen arviointimenetelmä vaatii rinnalleen toimivia tietomallien hyödyntämisoptioita. Ympäristöministeriön tiekartassa määriteltäjä menetelmäkehityksen keskeisimpiä tehtäviä onkin tietomallinnuksella saatavutettavien hyötyjen realisoitumisen varmistaminen työkaluin ja ohjein (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.44).

## **2.2 Tietomallin edellytykset hiilijalanjäljen laskentaan**

Rakennuksen materiaalien hiilijalanjäljen laskentaan tarvitaan yksinkertaisimmillaan materiaalien määräluettelo, materiaalien massat ja materiaalin hiilidioksidipäästöt massaa kohden. Lisäksi tarvitaan tietoa käytettävästä talotekniikasta ja rakennuksen energiankulutuksesta.

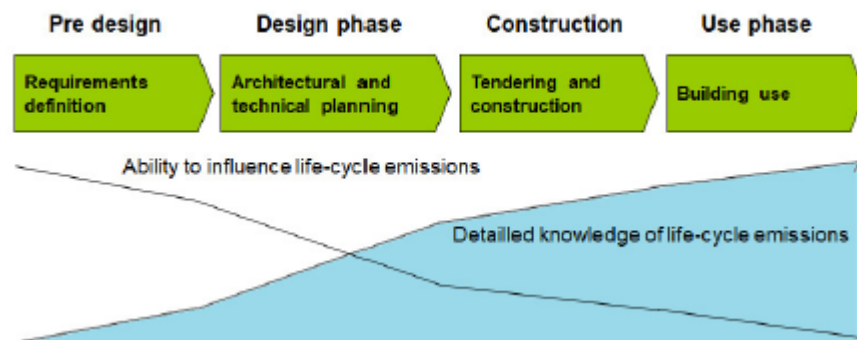
Rakennushankkeen edetessä tietomalliin lisätään koko ajan tarkempaa tietoa rakennuksesta ja tiedon määrä tietomallissa kasvaa. Hiilijalanjäljen laskennan tulosta täytyy aina tarkastella huomioon ottaen hankkeen vaihe. Jos hiilijalanjälki on laskettu toteutuneiden määrä- ja päästötietojen pohjalta, voidaan tulosta pitää laadukkaana ja luotettavana.

(Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.49) Kuvassa 1 on ympäristöministeriön kuvaus elinkaariarvioinnin laatuun vaikuttavista tekijöistä. Oikeat määrät, päästökertoimet, rajaukset ja laskentamenetelmät takaavat elinkaariarvioinnin laadun.



**Kuva 1.** Elinkaariarvioinnin laadun tekijät. (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.49)

Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaan hiilijalanjälkilaskelma on kannattavaa tehdä rakennuksen suunnitteluvaiheessa, kun tarvittavat tiedot materiaaleista ja energiaratkaisuista on tiedossa (Kuittinen 2019, s.12). Tässä työssä tarkastellaan elinkaariarvioinnin mahdollisuuksia toteutussuunnitteluvaiheessa, eli suunnittelun loppupuolella. Kuten kuvan 2 kuvaajasta voidaan tulkita, toteutussuunnitteluvaiheessa kaikista vaikuttavimmat päätökset hankkeen hiilijalanjälkitavoitteista on jo tehty ja mahdollisuus vaikuttaa hankkeen päästöihin jo vähän pienentynyt.



**Kuva 2.** Mahdollisuus vaikuttaa hiilijalanjälkeen hankkeen edetessä. (Bruce-Hyrkäs et al. 2018, s.4)

VTT:n (2013) tekemän tutkimuksen mukaan tietomallipohjaisen elinkaarilaskennan haasteet liittyvät osittain myös suunnitteluprosessiin. Elinkaarilaskennan tulosten tarkkuus ja mallinnustarkkuus vaativat kompromissia suunnittelun alkuvaiheessa, sillä suunnitteluprosessin alussa tehtävien arkkitehtimallien objektit voidaan usein mallintaa vain tyhjällä rakenteella, jossa ei ole tietoa rakenteen ominaisuuksista. Usein vasta rakenne-tietomalliin materiaali määritellään tarkemmin. Lisäksi käytön aikaisten päästöjen laskemiseen tarvitaan tietoja LVIS-järjestelmistä, jotka kuuluvat talotekniikan suunnittelijoille.

Arkkitehti joutuisi siis tekemään elinkaariarvioinnissa valintoja, jotka eivät kuulu arkkitehdin suunnitteluosaamiseen. Tämä asettaa rajoituksia sille, kuinka aikaisin ja kuinka tarkasti ympäristölaskentaa voidaan tehdä hankkeen aikana. (Vares 2013, s.25-26)

Rakennuksen materiaalien hiilidioksidipäästöihin vaikuttavat suunnittelun alat ovat arkkitehtuuri ja rakennesuunnittelu (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.71). Jos rakennesuunnittelun panosta ei oteta mukaan ympäristölaskentaan, on riskinä, että rakennepaksuudet, rakennettavuus ja rakenteiden hinta eivät ole realistisia (Vares 2013, s.25). Rakennesuunnittelija mallintaa rakennetietomallin toteutussuunnitteluvaiheessa. Rakennuksen toteutussuunnitteluvaiheessa päästöjä on mahdollisuus optimoida rakenteiden ja materiaalien valinnalla sekä optimoinnilla ja hyvällä energiasuunnittelulla. (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.71) Suurin rakennuksen materiaalien hiilijalanjälkeen vaikuttava tekijä on yleensä rungon materiaali, sillä runko käsittää suurimman osan rakennuksesta. Rakennesuunnittelijalla on siis hyvä mahdollisuus vertailla erilaisia rungon rakennevaihtoehtoja päästöjen näkökulmasta. Luvussa 5 tarkastellaan Tekla Structures-ohjelmalla tehdyn rakennetietomallin hyödyntämistä vähähiilisyyden arvioinnissa.

Tarpeet elinkaariarvioinnin tarkkuudelle vaihtelevat hankkeissa merkittävästi ekokriteerien mukaan. Ekokriteerit ovat suunnittelua ohjaavia suunnitteluvaatimuksia, vertailuperusteita tai tavoitteita. Erilaiset ympäristösertifikaatit, rahoitusoptiot ja ympäristöluokitukset määrittävät rakennukselle ekokriteerejä. Hankkeen tilaajalle edellä mainitut voivat olla tärkeitä meriittejä, eli jo hankesuunnitteluvaiheessa voidaan joutua päättämään, millä keinoin ekokriteerit saavutetaan. Tällöin ympäristöarvioinnin tekeminen on tärkeää mahdollisimman aikaisin hankkeen aikana (Vares 2013, s.24).

Kansallisen arvointimenetelmän mukaan hankesuunnitteluvaiheessa hiilijalanjäljelle määritettävän vaatimuksen perusteluun voisi käyttää tilastotietoa samanlaisten toteutusten rakennuksien hiilijalanjäljistä, koska tietoa suunniteltavasta rakennuksesta ei vielä ole tarpeeksi (Kuittinen 2019, s.12). Kuitenkin tarkan rakennustuotekohtaisen tiedon hyödyntäminen jo suunnittelun alkuvaiheessa auttaisi tekemään vähähiilisiä materiaalivalintoja (Vares 2013, s.69).

Tietomallien hyödyntäminen automaattisessa hiilijalanjäljen laskennassa tuo suunnittelijalle mahdollisuuden tarkastella hiilijalanjälkeä reaaliaikaisesti suunnitelmien edetessä, ja se taas lisäisi suunnittelijoiden tietämystä eri rakennevaihtoehtojen ympäristöystävällisyydestä. Tietomallipohjainen hiilijalanjäljen laskeminen on kätevää yhdistää myös materiaalien kustannuslaskemiseen, sillä molemmissa käytetään materiaaliluetteloja

(Bruce-Hyrkäs et al. 2018, s.5). Laskuprosessit yhdistämällä voitaisiin tehdä kustannus-tehokkaita ja vähähiilisiä materiaalivalintoja.

Tiedon saatavuus, käsittely ja hyödynnettävyys ovat hyvällä tasolla, kun käytetään tietomalleja. Tietomallin hyödyntäminen tekee hiilijalanjäljen laskemisesta asteen helpompaa ja nopeampaa. Kun laskentaprosessi saadaan tarpeeksi automatisoiduksi ja ohjeistetuksi, rakennussuunnittelijat voivat tehdä elinkaariarviointia ilman uusia pätevyysvaatimuksia (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.39).

### 3. RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ JA -TYÖKALU

Ympäristöministeriö on julkaissut kansallisen Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän ja arviointimenetelmän soveltamiseen sopivan vähähiilisyyden arviointityökalun. Arviointimenetelmä ja -työkalu ovat tällä hetkellä pilotointijaksolla, jonka palautteen perusteella arviointimenetelmää kehitetään. Excel-pohjainen työkalu antaa ilmaisen ja yksinkertaisen vaihtoehdon rakennuksen vähähiilisyyden arviointiin. Seuraavaksi kerrotaan arviointimenetelmän kehittämisen taustasta, arvioinnin rajauksista ja oletuksista sekä arvioinnin suorittamisesta uudella arviointityökalulla.

#### 3.1 Arviointimenetelmän tausta

Ympäristöministeriön käynnisti arviointimenetelmän työstämisen vuoden 2017 lopulla. Kansallisen arviointimenetelmän luominen on osa vähähiilisen rakentamisen tiekarttaa. Tavoitteena on luoda menetelmä, jolla voitaisiin laskea rakennusten hiilijalanjälkiä standardipohjaisesti Suomessa. Menetelmää kehitetään edelleen. (Taustamuistio 2018, s.7)

Arviointimenetelmää laadittaessa on tehty selvityksiä pisimmälle viedyistä eurooppalaisista hiilijalanjäljen huomioivista elinkaarilaskentamenetelmistä. Mukana on ollut menetelmiä Hollannista, Saksasta, Ruotsista ja Ranskasta. Myös standardit EN 15978, EN 15643 ja EN15804 sekä yleiseurooppalainen Level(s)-raportointikehys on otettu tarkastelun kohteeksi. Tarkastellut elinkaarilaskennan menetelmät pohjautuvat suurimmaksi osin standardiin EN 15978. (Taustamuistio 2018, s.12; Kuittinen 2019, s.11)

Eri maissa rakentamisen ympäristövaikutuksia lähestytään hieman eri näkökulmista. Esimerkiksi Hollannin menetelmässä on 11 ympäristöindikaattoria, joista vaikutus ilmastoon on vain yksi. Kaikki menetelmät ottavat huomioon koko rakennuksen elinkaaren, mutta menetelmissä on eroja siinä, miten ne ottavat huomioon elinkaaren eri vaiheet. Maakohtaisia eroja on myös laskentaan sopivien kohteiden rajauksessa. (Taustamuistio 2018, s.12) Kuvassa 3 on kerrottu maakohtaisia elinkaarilaskennan velvoitteita ja menetelmien pääpointteja.

				
Hollanti	Ranska	Ruotsi	Norja	Saksa
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elinkaaren ympäristövaikutusten laskenta pakolliseksi 2018 alusta</li> <li>• 11 ympäristö-indikaattoria, joista ilmasto-vaikutus yksi. Ympäristöhaitat muunnetaan euroiksi</li> <li>• Kansallinen päästötietokanta</li> <li>• Useita mahdollisia laskentatyökaluja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velvoite rakennustuotteiden ympäristöselosteille</li> <li>• CO<sub>2</sub>-päästöjen rajat 2020</li> <li>• Kokeilu: Pienemmät päästöt = lisää rakennusoikeutta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-päästöjen ilmoitusvelvollisuus tulossa 2021</li> <li>• Huomio myös rakentamisen terveellisyteen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-laskenta pakolliseksi kaikissa valtion rakennushankkeissa</li> <li>• Oma kansallinen laskentastandardi</li> <li>• Kansallinen työkalu laskentaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ympäristövaikutusten arviointimenetelmä erikseen uudisrakentamiseen, käytönaikaiseen ylläpitoon ja korjaustöihin</li> <li>• LCA-laskentasäännöt</li> <li>• Menetelmä pakollinen julkisessa rakentamisessa</li> <li>• Kansallinen päästötietokanta</li> </ul>

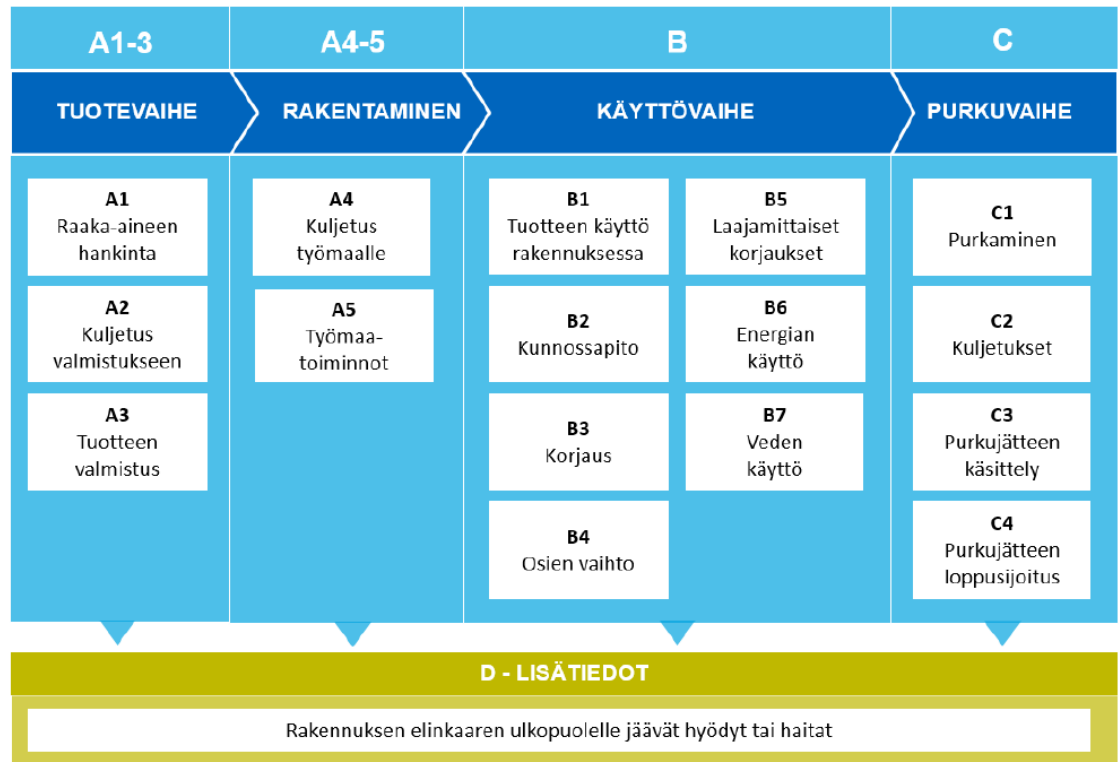
**Kuva 3.** Elinkaarilaskennan menetelmiä muissa maissa. (Taustamuistio 2018, s.12)

Suomen arviointimenetelmän ensimmäinen versio julkaistiin 2018, jolloin se laitettiin lausuntokierrokselle. Lausuntokierrokselta saadun palautteen pohjalta menetelmää on kehitetty eteenpäin. Nykyistä arviointimenetelmää tullaan myös kehittämään meneillä olevan pilotointijakson palautteen ja toimialan yhteistyön kautta. (Kuittinen 2019, s.13)

## 3.2 Arviointimenetelmän rajaukset

Arviointimenetelmä on tarkoitettu uudisrakennuksien sekä laajamittaisten korjausten hiilijalan- ja hiilikädenjäljen arviointiin. Arviointimenetelmä ei sovellu suoraan infrahankkeisiin. (Kuittinen 2019, s.12)

Vähähiilisyiden arviointimenetelmässä laskentaan otetaan mukaan rakennuksen koko elinkaari, johon kuuluu rakennustuotteiden valmistus ja kuljetukset, työmaatoiminnot, rakennuksen käyttö, korjaukset, purku ja kierrätys. Elinkaari on jaettu moduuleihin standardin EN 15643-2 mukaisesti. Elinkaaren vaiheet on avattu kuvassa 4. Vähähiilisyiden arvioinnin arviointijakson pituus on 50 vuotta tai tavoitekäyttöikä, jota on käytetty suunnittelun lähtökohtana (Kuittinen 2019, s.38). Arviointijakson pituus vaikuttaa hiilijalanjäljen tulokseen, sillä päästöt jaetaan arviointijakson pituudelle.



**Kuva 4.** Elinkaaren moduulit standardien mukaan. (Bruce-Hyrkäs et al. 2017, s.13)

Suomen menetelmässä mukaan otetaan moduulit A1-5, B3-4, B6, C1-4 sekä moduuli D. Suomen arviointimenetelmässä arvioinnista ulkopuolelle jää siis moduuli B5 Laajamittaiset korjaukset, moduuli B7 Veden käyttö, moduuli B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa ja moduuli B2 Kunnossapito. (Kuittinen 2019, s.35)

Laajamittaisten korjausten pois jättämistä on perusteltu menetelmän kehityksen taustamuistiossa (2018) sillä, että korjausten laajuutta ja tarvetta on vaikea arvioida rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Laajamittaisista korjauksista tehdään oma elinkaariarvio, kun se tulee ajankohtaiseksi. Veden käyttö on jätetty pois käyttöveden valmistuksen, kuljetuksen ja jäteveden puhdistuksen pienen hiilijalanjäljen vuoksi. Veden lämmitykseen kuluva energia otetaan kuitenkin huomioon osana moduulia B6 Energian käyttö. Moduuli B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa sisältää esimerkiksi talotekniikan kaasuvuodot, betonin karbonatisoitumisen ja puun hiilivarastot. Tuotteen käytöstä aiheutuvat päästöt on ohjattu esitettäväksi lisätiedoissa, eli moduulissa D. Kunnossapidosta aiheutuvien päästöjen vaikuttamiseen on rajalliset mahdollisuudet eivätkä ne tilastotiedon mukaan ole suuret, joten myös moduuli B2 Kunnossapito on jätetty arvioinnin ulkopuolelle. Suomen menetelmässä julkisivun maalaus on siirretty moduuliin B3 Korjaukset, poiketen standardista. (Taustamuistio 2018, s.33-61)



Elinkaaren tuotevaihe sisältää käytännössä materiaalien valmistuksesta aiheutuvat hiili-dioksidipäästöt. Arviointimenetelmän mukaan materiaalien hiilijalanjäljen laskennassa huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet ja keskeinen osa talotekniikasta. Arvioinnin ulkopuolelle jätetään määrältään pienet rakennusosat, kuten naulat, ruuvit, liimat ja pintakäsittelymateriaalit. Lisäksi arvioinnin ulkopuolelle jätetään tontin kasvillisuus ja varusteet, työmaan telineet, väliaikaiset rakenteet, muotit, tekniset laitteet, työmaatilojen elinkaari, työmaan henkilöliikenne ja talotekniikan tietotekniset järjestelmät, taloautomaatio, varavirtajärjestelmät, liukuportaat sekä erilliset koneet ja laitteet. Arviointiin kuuluvien rakennusosien rajaukset on esitetty pääpiirteittäin taulukossa 1. (Kuittinen 2019)

**Taulukko 1.** Arvioitavat rakennusosat. (Kuittinen 2019, s.18)

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
<b>Tontti</b>	+ Maaosat + Tuennat ja vahvistukset + Päälysteet + Alueen rakenteet	-Alueen varusteet -Kasvillisuus -Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset
<b>Kantavat rakenteet</b>	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Ulkotasot + Kattorakenteet	-Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
<b>Täydentävät rakenteet</b>	+ Väliseinät ja ovet + Portaat + Pintarakenteet + Tyypilliset kiintokalusteet + Hormit ja tulisijat + Tilaelementit	-Pintamateriaalit ja listat -Pintakäsittelyt ja maalaukset -Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
<b>Talotekniikka</b>	+ Lämmitysjärjestelmät + Vesi- ja viemärijärjestelmät + Ilmastointijärjestelmät + Jäähdytysjärjestelmät + Sprinklerit + Sähköjärjestelmät + Hissit	-Tietotekniset järjestelmät -Taloautomaatio -Varavirtajärjestelmät -Liukuportaat -Erilliset koneet ja laitteet
<b>Työmaa</b>	+ Työmaalla kulutettu energia	-Telineet, suojaukset -Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet -Työmaatilojen elinkaari -Työmaan henkilöliikenne

Rakentaminen eli elinkaaren toinen vaihe sisältää työmaakuljetusten ja työmaatoimintojen hiilidioksidipäästöt. Kuljetuksissa otetaan huomioon kaikki rakennusmateriaalien ja -tuotteiden kuljetukset, esivalmistuspaikoille ja välivarastointipaikoille mukaan lukien. Myös rakentamisvaiheen jätteen kuljetukset otetaan huomioon. Kuljetuksista jätetään pois rakennuskoneiden ja työntekijöiden kuljetus. Rakentamisvaiheen työmaatoimintoihin sisältyy rakennustöistä, valaistuksesta, kuivatuksesta, lämmityksestä, työmaatilojen käytöstä sekä muista vastaavista toimista aiheutuva energiantarve. Rakentamisvaiheen laskennassa käytetään eri energiamuotojen ja polttoaineiden päästökertoimia. (Kuittinen 2019)

Elinkaaren käyttövaiheeseen sisältyy korjauksesta, osien vaihdosta ja energian käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Korjauksen hiilijalanjälkeen otetaan huomioon työmaatoimien päästöt, sekä korjaukseen tarvittavien uusien rakennustuotteiden ja niiden kuljetuksien hiilidioksidipäästöt. Rakennusosien vaihtojen hiilijalanjälkeen otetaan huomioon tuotteet, joiden tekninen käyttöikä on lyhyempi kuin rakennuksen tavoiteikä. (Kuittinen 2019) Käyttöenergian hiilijalanjäljen laskemista varten täytyy määrittää rakennuksen osatoenergiankulutus rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen mukaisesti, jos mahdollista (Asetus 1010/2017). Hiilijalanjälki saadaan kertomalla laskennallinen osatoenergiankulutus energiamuodon päästökertoimella. (Kuittinen 2019, s.29)

Rakennuksen elinkaaren viimeiseen vaiheeseen eli purkuvaiheeseen sisältyy purkamisen ja kuljetusten hiilidioksidipäästöt sekä jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen hiilidioksidipäästöt. Purkaminen ja kuljetukset arvioidaan kuten rakentamisvaiheessa. Jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen hiilijalanjälki määritetään kullekin materiaali- ja jätteenkäsittely- ja loppusijoitusvaiheelle. Saha- ja purkajätteen jätteenkäsittelyn hiilijalanjälki voisi olla esimerkiksi puun polttoprosessin hiilidioksidipäästöt. Purkuvaiheen hiilijalanjäljen laskennassa tullaan käyttämään rakennustuotteiden päästötietokannan materiaali- ja jätteenkäsittely- ja loppusijoitusvaiheita, joiden kehitys on vielä kesken. Skenaariot tulevat sisältämään oletukset siitä, kuinka suuri osa materiaalista hyödynnetään tai loppusijoitetaan. Tällä hetkellä laskija voi itse arvioida hankekohtaiset skenaariot tai käyttää taulukkoarvoja. (Kuittinen 2019, s.21)

Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat ilmoitetaan vähähiilisyysarvioinnissa lisätietoina. Niitä ei vähennetä hiilijalanjäljestä. Elinkaaren ulkopuolisiin hyötyihin lasketaan hiilikädenjälki, johon sisältyy muun muassa materiaaleihin varastoitunut eloperäinen hiili, materiaaleihin sitoutuva ilmaston lämmittävä hiilidioksidi, tontilla tuotettava ylimääräinen uusiutuva energia ja rakennusosien uudelleenkäytöllä vältetyt kasvihuone-

kaasupäästöt. Viimeisimmästä esimerkkinä murskatulla betonilla voidaan korvata louhitua kiviainesta tierakentamisessa, jolloin vältetään kallion louhinnan ja murskaamisen hiilidioksidipäästöiltä. Elinkaaren ulkopuolisia haittoja voi olla esimerkiksi kierrätettävien tuotteiden vaatimat parannustoimenpiteet ja kuljetukset. (Kuittinen 2019, s.48-50)

### 3.3 Arviointimenetelmän oletukset

Elinkaariarvioinnissa arvioidaan suurelta osin tulevaisuudessa tapahtuvia vaikutuksia. Esimerkiksi arviot energian hiilijalanjäljestä tulevaisuudessa, korjausten ja huoltojen tarpeesta ja rakennustuotteiden loppusijoituksesta ovat aina oletuksiin perustuvia ja niihin sisältyy epävarmuuksia. Standardien mukaisten oletusten täytyy pohjautua säädöksiin, tilaajan vaatimuksiin tai hyväksyttyihin käytäntöihin. (Taustamuistio 2018, s.33)

Arviointimenetelmästä on kehitetty kaksi eri versiota: yksinkertaistettu ja tarkennettu menetelmä. Yksinkertaistetun menetelmän tarkoitus on tehdä vähähiilisyyden arviointi mahdolliseksi myös rakennushankkeen aikaisessa vaiheessa, kun määrittelemättömiä seikkoja on vielä runsaasti. Yksinkertaistettu menetelmä pohjautuu pitkälti taulukkoarvojen hyödyntämiseen, mutta käytetyt rakennusmateriaalit ja laskennallinen ostoenergia lasketaan hankekohtaisesti. Tarkennetussa arviointimenetelmässä kunkin elinkaaren vaiheen päästövaikutukset lasketaan hankekohtaisesti menetelmäohjeen mukaan. Tarkennettu menetelmä mahdollistaa eri vaihtoehtojen monipuolisemman vertailun. (Taustamuistio 2018, s.23)

Yksinkertaistetussa menetelmässä hyödynnettäviä taulukkoarvoja on määritetty elinkaaren eri vaiheiden päästöille taulukon 2 mukaisesti. Elinkaaren vaiheiden taulukkoarvot on määritetty keskiarvona Suomessa aikaisemmin tehtyjen hiilijalanjälkilaskelmien perusteella. Keskiarvoihin on lisätty 20 % epävarmuuskerroin. (Kuittinen 2019, s.45)

**Taulukko 2.** Elinkaaren vaiheiden keskiarvoiset päästöt. (Kuittinen 2019, s.45)

<b>Tyypilliset päästöt (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)</b>		
A1–3 Valmistus		(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)
A4 Kuljetus työmaalle	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot	27,30	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
B3–4 Korjausten energiankulutus	2,16	Materiaalien valmistus arvioitava erikseen
B6 Energian käyttö		(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)
C1 Purkutyömaan toiminnot	7,80	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	15,60	
Yhteensä	73,26	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

Taulukkoarvoja on määritetty myös taloteknisten järjestelmien päästöille. Neliömetrikoh-  
taiset tiedot on ilmoitettu huonealaa kohti. Taloteknisten järjestelmien päästötietoja on  
esitetty taulukossa 3. (Kuittinen 2019, s.44)

**Taulukko 3.** Taloteknisten järjestelmien päästötietoja. (Kuittinen 2019, s.44)

<b>Tavanomaisia järjestelmiä (pinta-alatiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)</b>	
Hissi	7585,00 kg CO <sub>2</sub> /kpl
Sähköasennukset ja kaapeloinnit	5,28 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Sprinklerijärjestelmä	5,85 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Vesi- ja viemärilaitteistot (pinta-alatiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)</b>	
Vesijohtojärjestelmä	2,10 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Viemäriputkisto	0,52 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Lämmitysjärjestelmä (pinta-alatiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)</b>	
Patteriverkosto	6,67 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Lämmönjakelukeskus	0,53 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Ilmanvaihtojärjestelmä	6,97 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Aurinkopaneelit (pinta-alatiedot ilmoitettu aurinkopaneelin keräinpinta-alaa kohti)</b>	
Kiteinen aurinkopaneeli	242,00 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Ohutkalvopaneeli	67,00 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Verkkoinvertteri	22,00 kg CO <sub>2</sub> /kpl

Lisäksi sekä tarkassa, että yksinkertaisessa menetelmässä tarvitaan energiamuotojen  
päästökertoimia (Taulukko 4), jotta voidaan laskea energian hiilijalanjälki ostoenergian-

kulutuksen ja päästökertoimen tulona. Vakioituissa päästökertoimissa on huomioitu arviointijakson aikana tapahtuva energian päästöjen laskeminen Suomen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti. (Kuittinen 2019, s.46)

**Taulukko 4.** Eri energiamuotojen päästökertoimia. (Kuittinen 2019, s.46)

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
<b>Sähkö</b>	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
<b>Kaukolämpö</b>	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
<b>Kaukojäähdytys</b>	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
<b>Fossiiliset polttoaineet</b>	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
<b>Uusiutuvat polttoaineet</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Jos vähähiilisyyden arviointiin käytetään ympäristöministeriön julkaisemaa arviointityökalua, taulukoidut päästötiedot ovat työkalussa oletuksena. Tarkennettua menetelmää käytettäessä päästötietoja muutetaan tarkennetun menetelmäohjeen mukaisesti laske-  
tuiksi.

### 3.4 Arvioinnin suorittaminen arviointityökalulla

Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmän- ja työkalun käyttöön tarvitaan suhteellisen tarkat tiedot rakennuksesta, myös yksinkertaistetussa menetelmässä. Hiilijalanjäljen laskeminen onkin suositeltua tehdä rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jossa tarvittavat päätökset materiaaleista ja talotekniikasta on tehty. Arviointi on tarkoitettu tehtäväksi rinnan energia-arvioinnin kanssa. (Kuittinen 2019, s.12)

Materiaalien hiilijalanjäljen laskemiseksi täytyy olla tiedot kaikkien rakennusosien määrästä kilogrammoina. Materiaalien massat saadaan usein rakennetietomallista materiaalliluettelona tai vaihtoehtoisesti ne täytyy laskea tilavuuksien ja materiaalien tiheyksien avulla tai etsiä valmistajien tuotekohtaisista tiedoista.

Talotekniikan hiilijalanjäljen laskemiseksi täytyy olla tiedossa vähintään käytettävät LVIS-järjestelmät, käytettävät energiamuodot ja energian kulutusmäärä. Myös talotekniikkaan käytetyt materiaalit sisältyvät materiaalien hiilijalanjälkeen ja niiden laskemista varten täytyy arvioida eri järjestelmän osien massoja aina lattiakaivoista antennijohtoihin. Talotekniikan kokonaispäästöille on määritetty myös taulukkoarvoja, ja ne löytyvät menetelmäohjeesta sekä työkalusta. (Kuittinen 2019, s.44) (Arviointityökalu 2019)

Määrä- ja massatietojen lisäksi laskentaan tarvitaan rakennustuotteiden päästötietoja. Arviointityökalussa on valmiiksi rakennustuotteiden ja -prosessien päästötietoja. Kehityksen alla on myös yhdenmukainen Suomessa käytettävä rakennustuotteiden ja -prosessien päästötietokanta, mutta ennen sen valmistumista voi käyttää arviointityökalun omia päästötietoja. (Kuittinen 2019, s.13)

Kun määrä- ja massatietoja kerätään arviointityökaluun, täytyy rakennustuotteet lajitella erilaisiin kategorioihin. Ensimmäiseksi valitaan tuotteelle pääryhmä, johon tuote kuuluu: tontti, kantavat rakenteet, vaippa, kevyet rakenteet ja talotekniikka. Pääryhmiin jaottelun jälkeen valitaan materiaalin tyyppi. Tietyn rakennusosa-pääryhmän sisälle kuuluvat materiaalin tyypit on avattu taulukossa 5. Materiaalin tyyppivaihtoehtojen tunteminen auttaa pääryhmiin jaottelussa. (Arviointityökalu 2019)

**Taulukko 5.** Materiaalien lajittelu arviointityökalussa. Perustuu lähteeseen  
(Arviointityökalu 2019)

<b>Tontti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilarit ja palkit</li> <li>• Piha- ja pohjarakenteet</li> <li>• Paikallavalubetoni ja raudoitteet</li> <li>• Laatat</li> </ul>
<b>Kantavat rakenteet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paikallavalubetoni ja raudoitteet</li> <li>• Piha- ja pohjarakenteet</li> <li>• Pilarit ja palkit</li> <li>• Laatat</li> <li>• Seinät ja sokkelit</li> <li>• Portaat</li> </ul>
<b>Vaippa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämmöneristeet</li> <li>• Kosteuseriste</li> <li>• Ulkoverhoilu</li> <li>• Katteet</li> <li>• Ikkunat, ovet ja lasiseinät</li> </ul>
<b>Kevyet rakenteet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seinät ja sokkelit</li> <li>• Portaat</li> <li>• Lämmöneristeet</li> <li>• Kosteuseriste</li> <li>• Ulkoverhoilu</li> <li>• Katteet</li> <li>• Ikkunat, ovet ja lasiseinät</li> <li>• Lattiapäällysteet ja –betoni</li> <li>• Levyt</li> <li>• Maalit ja tasoitteet</li> </ul>
<b>Talotekniikka</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LVI-osat</li> <li>• Sähköosat</li> <li>• Aurinkopaneeli</li> <li>• Hissit</li> <li>• Talotekniikan kokonaispäästöt</li> </ul>

Materiaalin tyypin määrittämisen jälkeen valitaan vielä oikea materiaali. Kaikki valittavissa olevat materiaalit on lueteltu arviointityökalun välilehdellä ”materiaalien päästötiedot”. Kun materiaalin ominaisuudet on valittu, taulukko laskee hiilijalanjäljen annetun painon perusteella. (Arviointityökalu 2019)

Laskennan tuloksena arviointityökaluun muodostuu yhteenveto, josta voidaan lukea hiilijalanjäljen suuruus ennen käyttöä (moduulit A1–5), käytön aikana (moduulit B3–4, B6) ja käytön jälkeen (moduulit C1–4) sekä elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (moduuli D). Lisäksi ohjelma muodostaa yhteenvetoon havainnollistavia diagrammeja tuloksista. Hiilijalanjälki ilmoitetaan yksikössä  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2_{\text{netto}}/\text{a}$ , eli hiilidioksidiekvivalenttikilot vuodessa elinkaaren aikana per lämmitetty nettoala. (Arviointityökalu 2019)

## 4. RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN

Tämän kandidaatintyön yksi päämäärä on suorittaa As Oy Puumeralle vähähiilisyyden arviointi ympäristöministeriön uudella työkalulla. Puumeran vähähiilisyyden arviointiin käytettävät tiedot tulevat kyseisen rakennuksen toteutussuunnitteluvaiheen rakennetietomallista sekä rakennuspiirustuksista. Seuraavaksi käydään läpi rakennuksen perustietoja ja laskennassa käytettyjä tietoja, niiden hyödyntämistä sekä laskennassa tehtyjä rajoja ja oletuksia.

### 4.1 Asunto Oy Puumera

Asunto Oy Puumera on vuonna 2011 Heinolaan valmistunut puinen asuinkerrostalo. Valmistuessaan Puumera oli edelläkävijä rakennustekniikaltaan ja energiataloudeltaan. Puumera oli valmistuessaan Suomen korkein puinen kerrostalo ja hiilijalanjäljeltään Suomen matalatasoisin kerrostalo. Rakennuksen tontilla on myös varastorakennus väestönsuojalla ja autokatos. (Puuinfo 2019) Kuvassa 5 on Puumeran etelän puoleinen julkisivu.



**Kuva 5.** As oy Puumeran etelän puoleinen julkisivu. (Puuinfo 2019)



### Perustietoja Asunto Oy Puumerasta:

• Sijainti	Jauhokalliontie 2, 19110 Vierumäki
• Valmistumisvuosi	2011
• Lämmitetty kerrosala	2065 m <sup>2</sup> (Pasanen et al. 2011, s.9)
• Suunniteltu käyttöikä	100 v
• Kerroksia	5
• Asuntoja	27
• Rakennusliike	Rakennusliike Reponen Oy

Puumeran on rakennettu pääosin tehtaalla valmiiksi tuotetuista elementeistä. Puumeran rakenteissa on yhdistetty suurelementti ja liimapuurunko. Yläpohja, ulkoseinät, välipohjat ja kantavat väliseinät ovat kaikki elementtirakenteisia. Välipohjaelementtien päälle on valettu 60 millimetriä paksu betonilaatta, joka on osa kantavaa rakennetta. (Puuinfo 2019)

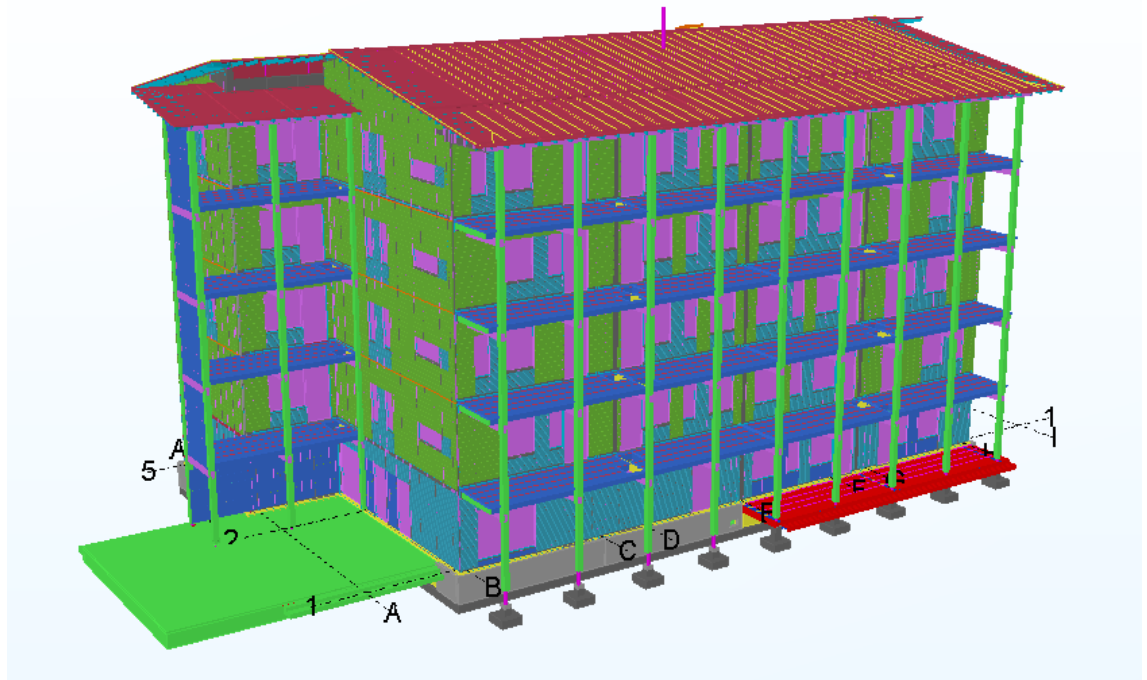
Rakennuksen suunnittelun lähtökohtana on ollut passiivitasovaatimus. Rakennuksen lämmitysenergian vuotuiseksi kulutukseksi on arvioitu 60 kWh/m<sup>2</sup> ja sähkönkulutukseksi 40 kWh/m<sup>2</sup> (Pasanen et al. 2011, s.15). Rakennus ei tarvitse varsinaista lämmitysjärjestelmää, koska tarvittava lämpö tulee ihmisistä, elektroniikasta ja kodinkoneista. Kovimilla pakkasilla rakennuksen lämmitykseen käytetään puubiojätteestä tuotettua kaukolämpöä. (Puuinfo 2019)

## 4.2 Laskennassa käytetty tieto

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointiin käytettävä tietomalli on Puumeran rakennetietomalli, jonka rakennesuunnittelija on toteutussuunnitteluvaiheessa mallintanut (Tietomalli 2010). Tietomalli on esitetty kuvassa 6. Laskennassa käytetään tietolähteenä lisäksi Puumeran rakennetyyppiirustuksia ja mittapiirustuksia. Rakennetyyppiirustuksissa on esitetty rakenteen leikkauskuva ja yksityiskohtaiset tiedot rakenteen kerroksista.

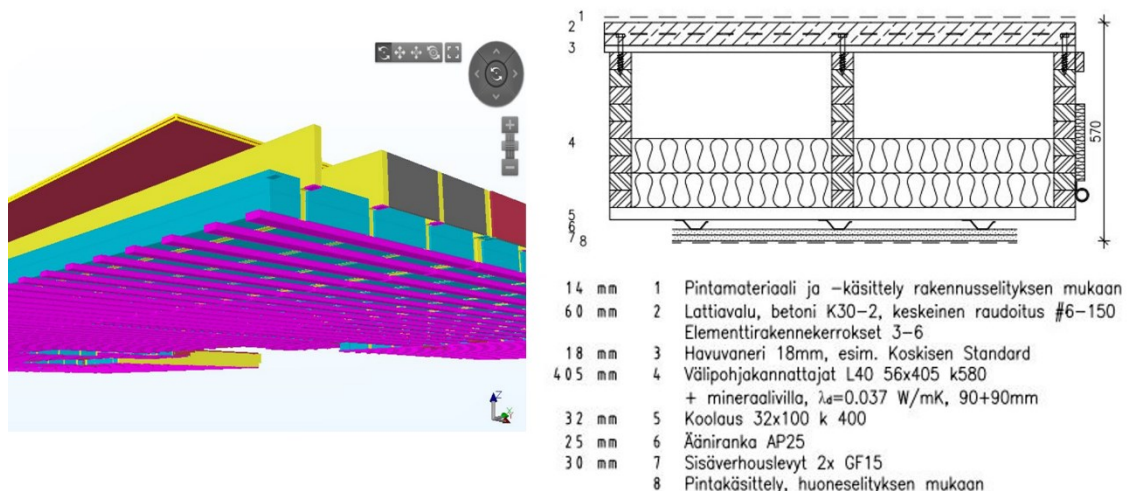
Puumeran tietomalliin mallinnetut rakennusosia kuvaavat objektit sisältävät tietoa muun muassa rakennusosan materiaalista, dimensioista, massasta ja sijainnista. Objekteissa on siis lähtökohtaisesti tarvittavat tiedot elinkaariarvioinnin suorittamiseen. Puumeran tietomalli on mallinnettu Tekla Structures -ohjelmistolla. Tekla Structures-ohjelmistosta saadaan tulostettua materiaaliluettelo, jossa on materiaalitiedot ja painot kaikille rakennusosille (Materiaaliluettelo 2019). Materiaaliluettelo on tekstitiedosto-muodossa, joten Exceliin liitettäessä tiedoston muokkaamiseen täytyy käyttää hetki. Tavoite on tehdä

tekstiedostosta sellainen, että sen voi suoraan liittää vähähiilisyyden arviointityökaluun. Kaikki tekstiedoston muokkaamisen vaiheet saa tehtyä Excelin komennoilla.



**Kuva 6.** Kuvakaappaus Puumeran tietomallista. (Tietomalli 2010)

Koska työssä on tarkoituksena pohtia, mitkä ovat tietomallin vaatimukset elinkaarilas-kennan näkökulmasta, Puumeran tietomallin valmiuden ja tarkkuuden astetta verrattiin rakennuksen lopullisiin rakennetyyppiinrakennuksiin (Rakennepiirustus 2010). Kuvassa 7 on välipohjan rakenne mallinnettuna ja rakennetyyppiinrakennuksissa. Vertailemalla voitiin huomata, että Puumeran tietomalliin ei ole mallinnettu ollenkaan rakennetyyppiinrakennuksesta löytyvää betonilaattaa eikä kipsisiä sisäverhouslevyjä. Puuttuvat betonilaatat ja sisäverhouslevyt lisättiin laskennassa käytettävään materiaaliluetteloon.



**Kuva 7.** Väli-pohjan rakenne mallinnettuna ja rakennetyyppiinrakennuksissa. (Tietomalli 2010) (Rakennepiirustus 2010)

Ulkoseinän ja yläpohjan mallinnustarkkuutta tarkasteltiin vastaavalla tavalla. Ulkoseinistä puuttui vain höyrynsulkukalvo ja sellainen lisättiin materiaaliluetteloon ulkoseinien pinta-alan mukaisesti. Yläpohjasta puuttui kaksinkertainen kumibitumikatehuopa, höyrynsulkukalvo ja kaksinkertaiset kipsiset sisäverhouslevyt. Lisäksi parvekkeisiin ei oltu mallinnettu parvekelaseja, joten parvekelasit lisättiin materiaaliluetteloon.

Lisäksi materiaaliluetteloa ja Puumeran tietomallia vertaamalla huomattiin, että tuntemattomasta syystä kaikki tietomallista löytyvät betoniset rakennuksen osat sekä ovet ja ikkunat olivat jääneet materiaaliluettelosta pois. Näin ollen materiaaliluetteloon lisättiin vielä maanvaraisen teräsbetonilaatan, betonianturoiden, perustusten, sokkelin ja ovien ja ikkunoiden materiaalitiedot.

Arvioinnissa käytettyä materiaaliluetteloa verrattiin myös Sitran hiilijalanjälkiselvityksessä käytettyyn suppeaan materiaalitaseluetteloon. Vertailun pohjalta materiaaliluetteloon lisättiin Sitran selvityksessä käytetty väestönsuojan ja jätekatoksen betonivaluosien paino. Väestönsuojaa ja jätekatosta ei ole muuten huomioitu muiden rakennusosien osalta laskelmissa, mutta niihin käytetyn muun materiaalin hiilijalanjälki ei ole merkittävän suuri verrattuna viisikerroksisen kerrostalon hiilijalanjälkeen. Arvioinnissa käytettiin myös samaa ostoenergiankulutusta kuin Sitran selvityksessä, koska Puumeran energiaselvitystä ei ollut saatavilla.

#### **Materiaaliluetteloon lisätyt rakennuksen osat kokonaisuudessaan:**

- Välipohjiin betonilaatta ja sisäverhouslevyt
- Ulkoseinään höyrynsulkukalvo
- Yläpohjaan kumibitumikatehuopa, höyrynsulkukalvo ja sisäverhouslevyt
- Parvekelasit
- Maanvarainen teräsbetonilaatta
- Anturat ja perustukset
- Sokkeli
- Ovet ja ikkunat
- Väestönsuojan ja jätekatoksen betonivaluosat

Vähähiilisyyden arviointiin tarvittavat massat ja pinta-alat selvitettiin kaikille materiaalilistaan lisätyille rakennusosille erikseen. Puumeran tietomallista löytyvien betonisten rakennusosien massat saatiin suoraan objektien tiedoista. Ovien ja

ikkunoiden pinta-alaksi arvioitiin keskimäärin 1 neliö. Loppujen rakennusosien painot tai vaihtoehtoisesti pinta-alat laskettiin mittapiirustusten (2011) ja materiaalin tiheyksien perusteella.

### **4.3 Laskennassa tehdyt rajaukset ja oletukset**

Kohteesta saatavilla olleet tiedot eivät sisältäneet kaikkea, mitä pitäisi tai voisi ottaa arvioinnissa huomioon, mutta työn tarkoituksena onkin pohtia, mille tasolle arvioinnissa päästään toteutussuunnitteluvaiheen tiedoilla. Laskemiseen käytettiin vähähiilisyiden arvioinnin yksinkertaistettua menetelmää. Yksinkertaistettu menetelmä valittiin, koska työssä on tarkoitus käyttää toteutussuunnitteluvaiheen rajallisia tietoja.

Vähähiilisyiden arvioinnissa käytettiin hyödyksi luvussa 3.3 esitellyjä arviointityökalussa valmiiksi olevia oletuksia eri materiaalien ja vaiheiden päästöistä. Työmaatoimintojen, käyttöenergian, purkamisen sekä rakennusmateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen päästötiedot muodostuivat työkaluun syötettyjen tietojen ja menetelmäohjeessa määritettyjen taulukkoarvojen pohjalta automaattisesti.

Kaikki vähähiilisyiden arviointimentelmässä kuvatut elinkaaren vaiheet otettiin mukaan tarkasteluun. Arviointijakson pituudeksi määritettiin rakennuksen suunniteltu käyttöikä, eli 100 vuotta. Materiaalien hiilijalanjäljen laskentaan mukaan otettavien materiaalien rajaukset määräytyivät käytössä olevan tiedon mukaan. Puumeran tietomallin valmiuden tarkasteluun ei sisällytetty koko tietomallin jokaista rakennetta, sillä koko mallin yksityiskohtainen tarkastelu manuaalisesti olisi vienyt todella paljon aikaa, eivätkä vaikutukset lopulliseen hiilijalanjälkeen olisi olleet merkittävän suuret. Yläpohjan, välipohjien, ulkoseinien, alapohjan ja perustuksien valmiuden tarkastelu tietomallin ja rakennepiirustusten avulla kattaa suurimman osan rakennuksesta.

## 5. TULOKSET

Tässä työssä suoritettu Puumeran vähähiilisyyden arviointi tehtiin toteutussuunnittelu- vaiheen tiedoilla, jotta voitaisiin arvioida, mille tasolle arvioinnissa päästään toteutus- suunnitteluvaiheen tiedoilla verrattuna todelliseen hiilijalanjälkeen. Pasanen et al. (2011) ovat laskeneet Sitran selvityksessä Puumeran koko elinkaaren hiilijalanjäljen toteutuneiden materiaalivalintojen ja energiaratkaisuiden pohjalta. Seuraavaksi tarkastellaan ja vertaillaan molempien hiilijalanjälkilaskelmien tuloksia.

### 5.1 Laskettu Puumeran hiilijalanjälki

Vähähiilisyyden arvioinnin tulokset arviointityökalun yhteenvedovälilehdeltä on esitetty kuvassa 8 ja liitteessä A. Koko elinkaaren hiilijalanjäljen arvoksi saatiin 8,28 kgCO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a.

Elinkaariarvioinnin tulokset	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	tn CO <sub>2</sub> e	tn CO <sub>2</sub> e
Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt (A-D)	1 710	-340
	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a
Vuotuiset päästöt lämmitettyä nettoalaa kohden (A-D)	8,28	-1,64
Valmistus, kuljetus ja työmaa (vaiheet A1-5)	2,10	-1,64
Tontti	0,54	
Kantavat rakenteet	0,43	-1,14
Vaippa	0,14	-0,12
Kevyet rakenteet	0,45	-0,38
Talotekniikka	0,27	
Käyttö (vaiheet B3-4, 6)	5,85	
Purkaminen (vaihe C)	0,34	
Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D)		

**Kuva 8.** Vähähiilisyyden arvioinnin yhteenvedo työkalussa. (Arviointityökalu 2019)

Yhteenvedon lisäksi tarkempia tuloksia eri elinkaaren vaiheille löytyy työkalusta elinkaaren vaiheiden omilta välilehdiltä. Taulukossa 6 on koottuna elinkaaren vaiheiden tuloksia ja osuuksia kokonaishiilijalanjäljestä.

**Taulukko 6.** Tuloksia hiilijalanjäljen laskennasta. Perustuu laskentatyökalussa saatuihin tuloksiin.

Elinkaaren vaihe ja moduulit	Hiilijalanjälki [kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> / a]	Osuus kokonaishiilijalanjäljestä
Materiaalien valmistus ja kuljetus (A1-4)	1,83	22 %
Työmaatoiminnot (A5)	0,27	3 %
Energian käyttö (B6)	4,93	60 %
Korjaukset ja vaihdot (B3-4)	0,91	11 %
Purku (C1)	0,08	1 %
Kuljetukset (C2)	0,10	1 %
Loppukäsittely ja -sijoitus (C3-4)	0,16	2 %

Suurimman osan hiilijalanjäljestä muodostavat energian käyttö ja toiseksi suurimman materiaalien hiilijalanjälki. Kolmantena tulee korjausten ja vaihtojen hiilijalanjälki. Purkamisen vaiheet ja työmaatoiminnot muodostavat pienimmän osan kokonaishiilijalanjäljestä.

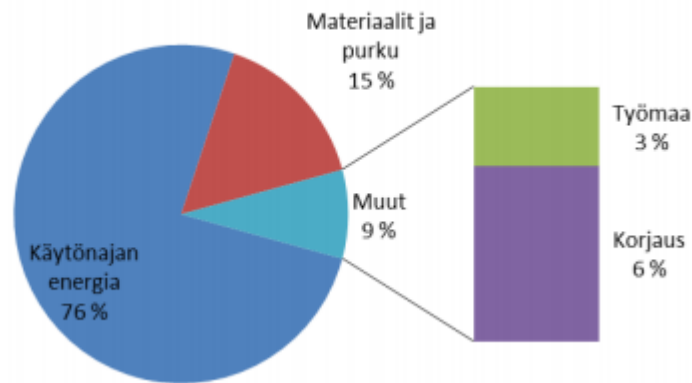
Hiilijalanjälki laskettiin aluksi myös pelkän tietomallista tulostetun materiaaliluettelon perusteella ja hiilijalanjäljeksi saatiin 5,18 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a. Materiaaliluettelosta alun perin puuttuneet, mutta sinne lisätyt tiedot olivat hiilijalanjäljeltään siis 3,1 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a suuruiset.

## 5.2 Puumeran hiilijalanjälki Sitran selvityksen mukaan

Sitran selvityksessä elinkaariarviointiin on sisällytetty samat elinkaaren vaiheet kuin tässä työssä. Sitran selvityksessä rakennuksen osista mukaan on otettu perustus, runkorakenteet, seinät ja väliseinät, ylä-, ala- ja välipohjat, ikkunat ja ovet, lattiamateriaalit, katto sekä suurimmat talotekniikan laitteet eli hissi, ilmanvaihtokoneet ja sprinklerijärjestelmä. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty asuntojen kalusteet ja keittiövarustus, sisustusratkaisut sekä vähämerkityksellisenä pidettävä talotekniikka. Materiaalitiedot selvitykseen on koottu suunnittelu-, tilaus-, tuote- ja toimitustiedoista. (Pasanen et al. 2011, s.10)

Sitran selvityksessä kokonaishiilijalanjäljelle saatiin arvo  $9,4 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{netto}} / \text{a}$ . Myös Sitran selvityksessä suurimman osan hiilijalanjäljestä muodostaa energian käyttö ja seuraavaksi suurimman materiaalit. (Pasanen et al. 2011, s.20) Kuvassa 9 on esitetty ympyrädiagrammin avulla hiilijalanjäljen osatekijät.

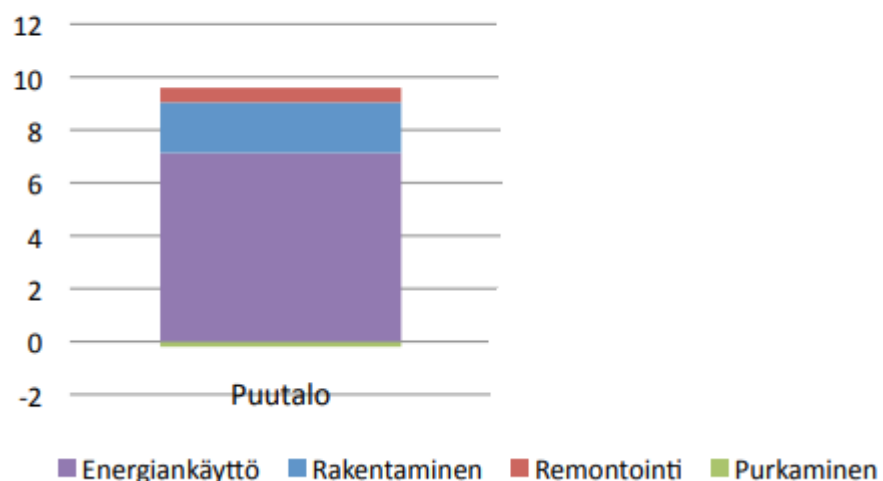
### Puutalon päästöt 100 vuodessa



**Kuva 9.** Sitran selvityksen hiilijalanjäljen osatekijät. (Pasanen 2011, s.20)

Kuvan 14 tietoja tarkasteltaessa täytyy tietää, että rakennuksen purkamisen hiilijalanjälki on huomioitu negatiivisena eli se pienentää materiaalien ja purun osuutta. Kuvassa 10 olevasta pylväsdiagrammista voidaan arvioida, että purkaminen on suuruudeltaan noin  $0,2 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{netto}} / \text{a}$  eli noin 2 % kokonaishiilijalanjäljestä. (Pasanen et al. 2011, s.22)

### Passiivitasen kerrostalo, $\text{kg CO}_2 / \text{nm}^2 / \text{v}$



**Kuva 10.** Hiilijalanjäljen osatekijöitä kuvaava pylväsdiagrammi. (Pasanen et al. 2011, s.22)

Sitran laskelmassa käytettyä 100 vuoden arviointijaksoa ja 60 kWh/m<sup>2</sup> ostoenergian kulutusta käytettiin myös tämän työn laskelmassa, jotta tuloksia olisi yksinkertaista arvioida. Sitran laskelmassa kuitenkin käytettiin päästökertoimia, jotka ovat päästökertoimien nykyarviota suuremmat.

### 5.3 Vertailu

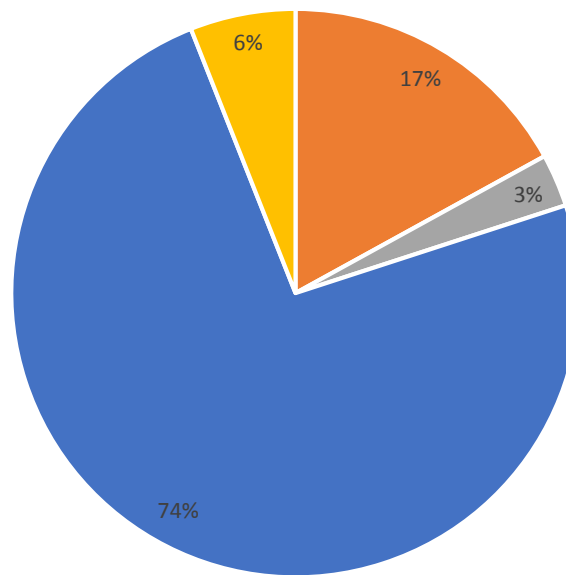
Tuloksista voidaan ensimmäisenä huomata, että Sitran selvityksessä on otettu huomioon purkuvaiheen hyödyt, kun taas tämän työn laskelmassa vain haitat. Jotta tuloksia voitaisiin vertailla yksinkertaisesti, purkamisen hiilijalanjälki eliminoitiin molemmista. Tässä työssä lasketusta kokonaishiilijalanjäljestä vähennettiin purun hiilijalanjälki. Sitran selvityksen materiaalien hiilijalanjälkeen ja kokonaishiilijalanjälkeen lisättiin purkamisen osuus eli 0,2 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a, jolloin kokonaishiilijalanjäljeksi tulee 9,6 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a. Taulukossa 7 on esitetty hiilijalanjäljen osatekijät yksinkertaisesti vertailtavassa muodossa. Lisäksi Sitran ja tämän työn tuloksista tehtiin ympyrädiagrammit havainnollistamisen vuoksi ja ne löytyvät kuvasta 11.

**Taulukko 7.** Laskelmien tulokset vertailtavassa muodossa. Perustuu lähteeseen (Pasanen et al. 2011).

Vaihe	Tässä työssä laskettu		Sitran selvitys	
	Hiilijalanjälki	Osuus	Hiilijalanjälki	Osuus
Materiaalien valmistus ja kuljetus	1,83	23 %	1,61	17 %
Työmaatoiminnot	0,27	3 %	0,28	3 %
Energian käyttö	4,93	62 %	7,14	74 %
Korjaukset ja vaihdot	0,91	12 %	0,56	6 %
Yhteensä	7,94	100 %	9,6	100 %



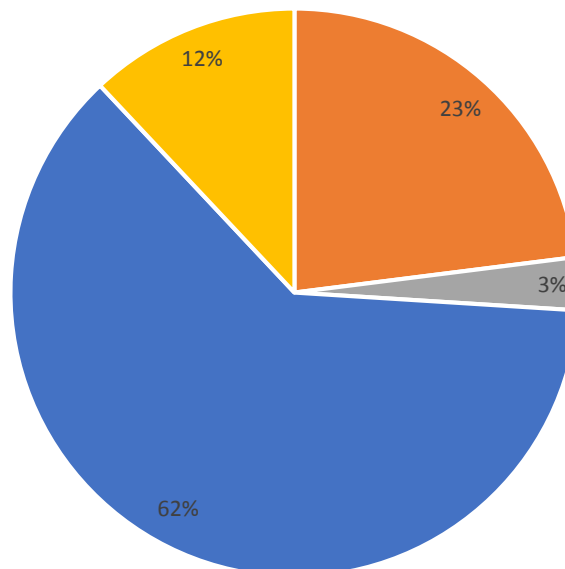
### Sitran selvityksen tulokset



Yht. 9,6 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a

■ Materiaalien valmistus ja kuljetus    ■ Työmaatoiminnot  
■ Energian käyttö    ■ Korjaukset ja vaihdot

### Vähähiilisyiden arvion tulokset



Yht. 7,94 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup><sub>netto</sub> / a

■ Materiaalien valmistus ja kuljetus    ■ Työmaatoiminnot  
■ Energian käyttö    ■ Korjaukset ja vaihdot

**Kuva 11.** Tulokset esitettynä ympyrädiagrammeissa.

Tuloksia voidaan pitää hyvin vertailtavissa olevina. Kun tarkastellaan vaiheiden suurusluokkia, laskelmien arvot vastaavat toisiaan. Kokonaishiilijalanjälkien erotus on  $1,66 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{netto}} / \text{a}$ .

Rakennuksen käytön aikaisen energian käytön hiilijalanjälki eroaa tuloksissa eniten. Ero on  $2,21 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{netto}} / \text{a}$ , eli suurempi kuin kokonaishiilijalanjälkien erotus. Kuten työssä käytetyssä arviointimenetelmässä, myös Sitran selvityksessä on otettu huomioon energiantuotannon päästöjen pieneneminen ilmastopolitiikan ja -toimenpiteiden vuoksi. Vertaamalla arviointimenetelmäohjeen ja Sitran selvityksen päästökertoimia voidaan huomata, että Sitran julkaisun aikaan päästöjen laskua ei ole arvioitu niin rajuksi kuin ajantasainen päästökehitysarvio on. Näin ollen Sitran elinkaariarvioinnissa käytetyt päästökertoimet ovat suurempia, kuin tässä työssä käytetyt päästökertoimet. Suuremmat päästökertoimet Sitran selvityksessä tekivät käytön aikaisten päästöjen arviosta ajankohtaista oletusta suuremman. Tämä selittää eroa energiankäytön hiilijalanjälkien ja myös kokonaishiilijalanjälkien välillä. (Pasanen et al. 2011, s.18) (Kuittinen 2019, s.46)

Työmaatoimintojen hiilijalanjäljet sattuvat olemaan lähes saman suuruiset, vaikka arviointityökalu ei ota huomioon, että talo rakennetaan elementeistä. Sitran selvityksessä elementtirakentaminen on otettu huomioon (Pasanen et al. 2011, s.25). Elementtirakentamisen päästöt ovat yleensä pienemmät kuin tavanomaisen rakentamisen. Samansuuruisuus voi selittyä tavanomaisen rakentamisen työmaatoimintoihin käytetyn energian päästöjen pienenemisellä.

Korjausten ja vaihtojen hiilijalanjälki on suurempi tämän työn laskelmassa. Tämä todennäköisesti johtuu arviointityökalun materiaaliakohtaisista vaihto-oletuksista. Arviointityökalussa esimerkiksi lasketaan kipsilevyihin vaihto 50 vuoden välein riippumatta siitä, ovatko kipsilevyt tuulensuojalevyinä vai sisäverhouslevyinä. Tämä vääristää vaihtojen hiilijalanjälkeä. (Arviointityökalu 2019)

Materiaalien hiilijalanjäljen arvot poikkeavat vain vähän. Erotus on  $0,22 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{netto}} / \text{a}$ . Yllättäen tämän työn laskelmassa materiaalien hiilijalanjälki on suurempi kuin Sitran selvityksessä. Hiilijalanjälkeä suurentaa ainakin Sitran laskelmasta pois jätetyt talotekniikan osat, joiden arvoksi tämän työn laskelmassa tuli noin  $0,1 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{netto}} / \text{a}$ . Sitran selvityksessä voisi myös olettaa olevan enemmän rakennusmateriaaleja mukana, sillä materiaalimäärät on kerätty toimitusketjutietojen perusteella. Suurempi hiilijalanjälki voi johtua myös käytetyn arviointityökalun materiaalien päästötiedoista, jotka ovat keskiarvoja.

## 6. PÄÄTELMÄT

Työn tarkoituksena oli arvioida vertailun perusteella mille tasolle hiilijalanjäljen arviossa päästään toteutussuunnitteluvaiheen tiedoilla ja uudella arviointimenetelmällä. Lisäksi oli tarkoitus pohtia arviointimenetelmän käyttökokemusta sekä tietomallien hyödyntämistä elinkaariarvioinnissa.

Toteutussuunnitteluvaiheen rakennetietomallia ja rakennuspiirustuksia hyödyntäen tehty vähähiilisyyden arviointi osoittautui vastaavan hyvin toteutuneiden ratkaisujen mukaan laskettua hiilijalanjälkeä. Tulokset olivat hyvin vertailtavissa. Saatujen tulosten pohjalta voitaisiin tehdä suunnittelua ohjaavia päätöksiä. Rakennetietomallin ja rakennepiirustusten tiedoilla määritetty materiaaliluettelo osoittautui siis tarpeeksi tarkaksi elinkaariarvioinnin suorittamiseen. Myös arviointimenetelmän taulukkoarvojen voidaan todeta olleen realistiset.

Vain energian käytön hiilijalanjäljellä oli merkittävä ero tämän työn ja sitran laskelmissa. Tuloksista huomattiin, että tuotetun energian päästöjen oletetaan vähenevän vielä enemmän kuin kahdeksan vuotta sitten oletettiin. Tuloksista nähdään siis kahdeksan vuoden ajalta muutos päästökehitysskenaarioissa. Näin ollen myös rakennuksen energiankäytön osuuden hiilijalanjäljestä voidaan olettaa pienenevän tulevaisuudessa. Silloin materiaalien osuus hiilijalanjäljestä kasvaa ja materiaalien optimoinnin merkitys korostuu.

Vähähiilisyyden arvioinnin suorittaminen osoittautui vähän oletettua suuremmaksi työmääräksi. Vähähiilisyyden arviointiin tarvittavien tietojen kerääminen oli oma osansa prosessissa. Rakennetietomallista tulostetun materiaaliluettelon muokkaaminen tapahtui kätevästi Excelin komennoilla, mutta tietomallin ja rakennuspiirustusten vertailuun sekä puuttuvien materiaalitietojen määrittämiseen meni suuri osa käytetystä ajasta. Rakennetietomallista puuttuneiden materiaalien aiheuttama hiilijalanjälki osoittautui olevan yli kolmasosan kokonaishiilijalanjäljestä, joten puuttuneiden tietojen määrittäminen oli oleellinen osa arviointiprosessia.

Laskentatyökalu oli selkeä ja yksinkertainen. Kuitenkin materiaalien jakaminen eri kategorioihin ja alakategorioihin työkalussa vei aikaa. Kategorioissa oli myös joitain vaihto-

ehtojen puutteita, mutta tarkempia tietoja ei lähdetty syöttämään työkaluun. Arviointityökalun oletusarvot olivat nopeuttava tekijä elinkaariarvioinnin suorittamisessa. Vaikka aikaa kuluikin omassa arvioinnissani, niin kokeneella rakennesuunnittelijalla aikaa arvioinnin tekemiseen menisi todennäköisesti huomattavasti vähemmän, sillä hänellä on käsitys siitä, mitä oma rakennetietomalli sisältää ja mihin kategorioihin materiaalit jaetaan. Jos rakennetietomalli on hyvässä mallissa ja arviointityökalun kategoriat ennalta tuttuja, niin arviointi olisi mielestäni mahdollista suorittaa alle yhdessä työpäivässä.

Vähähiilisyyden arviointiprosessissa oli monia virhealttiita datankäsittelyn tilanteita, jotka liittyivät juuri materiaalien hiilijalanjäljen laskentaan. Materiaalitietojen kerääminen manuaalisesti laskentataulukkoon, puuttuvien materiaalien tarkistaminen, rakennusosista käytettävän tiedon tarkkuuden rajaaminen ja kategorioiden valitseminen manuaalisesti rajallisista vaihtoehtoista tuovat laskennan tulokseen välttämättä laskijakohtaisia hajontaa. Tietomallien materiaalitietokannan liittäminen suoraan hiilijalanjäljen laskentatyökaluun vähentäisi laskijakohtaisia virheitä ja nopeuttaisi prosessia.

Suurin osa materiaalien hiilijalanjäljistä lasketaan materiaalin massan avulla, joten paras vaihtoehto olisi, jos massatiedot saataisiin kaikille rakennusosille suoraan tietomallista. Tietomalliin pitäisi siis hiilijalanjäljen laskentaa varten syöttää tiedot jokaisen mallinnetun objektin materiaalista ja tilavuudesta. Nämä ovat tietoja, joita rakennesuunnittelija syöttää rakennetietomalliin tavanomaisessa mallinnusprosessissa. Jos elinkaariarvioinnin tulosta haluttaisiin seurata reaaliaikaisesti mallinnuksen edetessä, niin Excel-pohjainen työkalu olisi siihen tarkoitukseen suhteellisen hidas tapa, koska prosessissa on niin paljon manuaalista tiedonkäsittelyä.

Jos tietomallit ja elinkaarilaskenta saataisiin yhdistettyä siten, että hiilijalanjälki päivittyisi reaaliaikaisesti mallintaessa, niin hiilijalanjäljen huomioiminen suunnittelussa olisi helpompaa ja nopeampaa. Silloin myös erilaisten suunnitteluratkaisuiden konkreettinen vaikutus hiilijalanjälkeen selkenisi suunnittelijoille ja uusien rakenneratkaisuiden kehitys vauhdittuisi.

Arviointimenetelmän kehityksen kannalta jatkotutkimusideoita voisi olla monen samantapaisen rakennushankkeen kokonaispäästöjen variaation tutkiminen tai työkalussa käytettävien keskiarvolukujen käytön vaikutuksen tutkiminen. Tietomallien hyödyntämisen kannalta jatkotutkimusideoita voisi olla sellaisen työkalun kehitys, joka kerää hiilijalanjäljen arviointiin tarvittavat tiedot tietomallista ja ilmoittaa puuttuvista tiedoista, sekä mahdollisesti myös laskee hiilijalanjäljen. Tällainen voisi olla toteutettavissa esimerkiksi

Grasshopper-ohjelmalla. Toinen jatkotutkimusidea voisi olla tietomallinnusprosessin tarkempi tutkiminen elinkaariarvioinnin toteuttamisen ajankohdan optimoimiseksi. Hiilijalanjäljen laskennan pakollistuessa olisi mielenkiintoista tutkia myös sitä, millaiset valmiudet eri suuruksilla rakennusalan yrityksillä on tehdä laskentaa ja miten laskennan pakollisuus vaikuttaa yrityksiin.

Hiilijalanjälkilaskelmien kysyntä tulee todennäköisesti nousemaan, kun rakennuksen hiilijalanjäljen hallinta rakennusmääräysten avulla otetaan käyttöön. Alan toimijoiden kannattaa siis tutustua arviointimenetelmään ja sen käyttöön hyvissä ajoin, varsinkin nyt kun menetelmän kehittämiseen on vielä mahdollisuus vaikuttaa palautetta antamalla. Toimivia arviointiprosesseja tullaan varmasti kehittämään lisää lähivuosina. Keskeisiä päämääriä arviointiprosessin kehittämisessä ovat laskennan nopeus, automaattisuus ja tarkkuus.

## LÄHTEET

Arviointityökalu. (2019). Excel-taulukko. Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 24.11.2019): [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Rakennuksen\\_vahahiilisyyden\\_arviointimenetelma](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma)

Bruce-Hyrkäs, T, Pasanen, P & Castro, R. (2018). Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews. Bionova Ltd. Kööpenhamina. 6 p.

Bruce-Hyrkäs, T, Pasanen, P & Ilomäki, A. (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. Helsinki. 55 s. + liitteet 17 s.

Bueno, C & Fabricio, M. (2016). Application of building information modelling (BIM) to perform life cycle assessment of buildings. Sao Paolo: University of Sao Paolo. 121 p.

Hentinen, T. (2012). Yleiset tietomallivaatimukset: Osa 1. Yleinen osuus. Rakennustieto Oy. 21 s.

Jäväjä, P. & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Kuittinen, M. (2019). Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Helsinki. 54 s.

Materiaaliluettelo As oy Puumeran rakennetietomallin pohjalta. (2019). Swecolta saatu julkaisematon tekstiasiakirja.

Mittapiirustus As oy Puumerasta. (2011). Finnmap Consulting. Swecolta saatu julkaisematon rakennepiirustus.

One Click LCA. (luettu: 2019). Bionova Ltd. Saatavissa (viitattu 25.11.2019): <https://www.oneclicklca.com/bim-for-sustainable-building-design-with-one-click-lca-model-checker/>

Pasanen, P, Korteniemi, J & Sipari, A. (2011). Passiivitasen asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki -tapaustutkimus kerrostalon ilmastovaikutuksista. Sitra. Helsinki. 35 s. + liitteet 2 s.

Puuinfo. (luettu: 2019). Valmistuneet puukerrostalot. Saatavissa (viitattu 25.11.2019): <https://www.puuinfo.fi/valmistuneet-puukerrostalot#Puumera>

Rakennepiirustus As oy Puumeran vaakarakenteiden rakennetyypeistä. (2010). Finnmap Consulting. Swecolta saatu julkaisematon rakennepiirustus.

Tietomalli. (2010). As oy Puumeran toteutussuunnitteluvaiheen lopullinen rakennetietomalli. Swecolta saatu julkaisematon tietomalli.

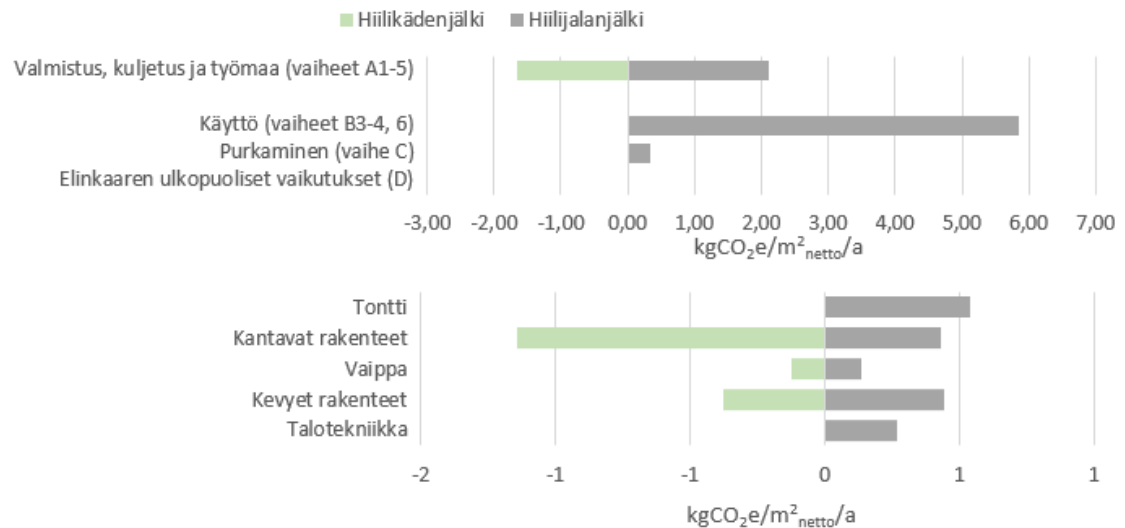
Vares, S, Sulankivi, K, Palos, S, Kojima, J, Kiviniemi, M, Tuomisto, M. (2013). Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta. VTT. Espoo. 75 s. + liitteet 2 s.

Ympäristöministeriö. (2018). Taustamuistio rakennuksen elinkaariarvioinnin menetelmäohjeeseen. Helsinki. 74 s.

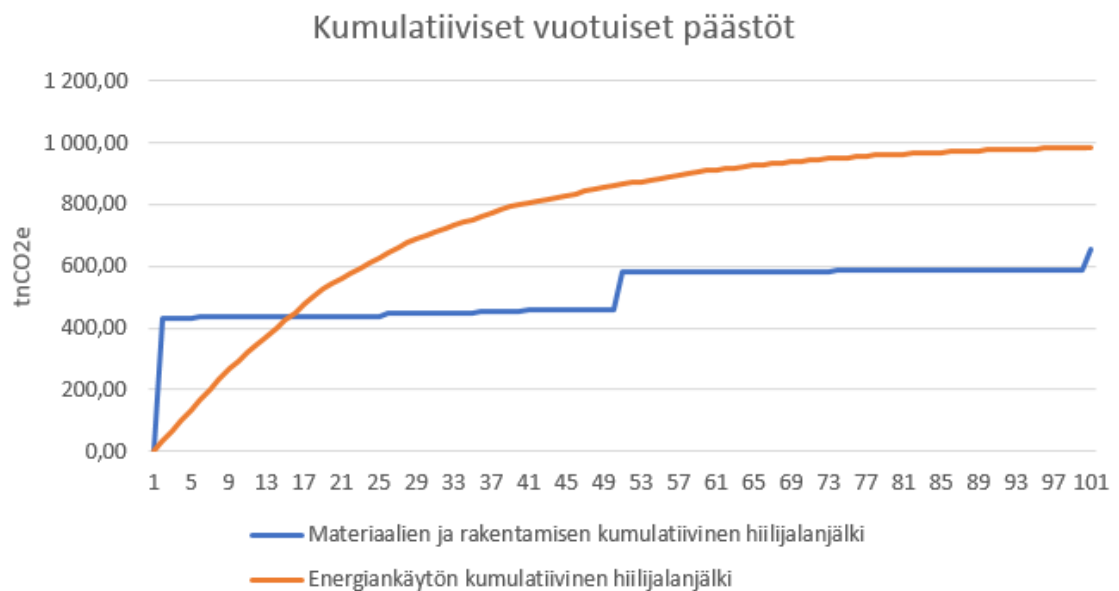
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Asetus 1010/2017. (2017). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

# LIITE A: ARVIOINTITYÖKALUN YHTEENVEDON KUVAAJAT

Kuvaajia vähähiilisyden arviointityökalun yhteenvedosta:



Pylväsdiagrammi tuloksista.



Kumulatiiviset vuotuiset päästöt.